

# 对天然气气质国家标准规定仲裁方法的讨论

陈庚良

中国石油西南油气田公司天然气研究院, 四川 成都 610213

**摘 要:** 强制性国家标准 GB 17820-2018《天然气》于 2018 年 11 月发布, 该标准对一系列气质标准仲裁方法作出了规定。从仲裁(分析)方法的定义出发, 指出确定仲裁方法的首要条件是其必须具有较高的准确度。同时, 在讨论分析化学计量学溯源链技术模型的基础上, 阐明不同层级的标准气混合物(RGM)和标准测量方法是构成溯源链的基本要素。最后, 综合上述两个方面的讨论结果指出: 强制性国家标准 GB 17820-2018《天然气》规定的一系列气质标准仲裁方法存在若干宜进一步探讨的技术问题。鉴于此, 建议有关部门予以充分重视, 并组织有关专家展开深入讨论以统一认识。

**关键词:** 天然气; 能量计量; 分析化学计量; 溯源链技术模型; 仲裁试验方法; 标准气混合物(RGM); 基准测量方法; 标准测量方法

DOI:10.3969/j.issn.1006-5539.2020.05.006

## Discussion on Arbitration Method Stipulated in National Standard of Natural Gas Quality Specifications

Chen Gengliang

Natural Gas Institute of PetroChina Southwest Oil & Gasfield Company, Chengdu, Sichuan, 610213, China

**Abstract:** The mandatory national standard GB 17820-2018 "Natural Gas" issued in November 2018 stipulates a series of arbitration methods for natural gas quality. Starting from the definition of arbitration (analysis) method, it is pointed out that the primary condition of determining arbitration method is its high accuracy of the gas quality analysis. At the same time, on the basis of discussing the technical model of chemometrics traceability chain, it is clarified that different levels of reference gas mixture (RGM) and standard metering methods are the basic elements of traceability chain. Finally, based on the above discussion, it is pointed out that there are some technical issues that require further discussion in a series of gas quality standard arbitration methods stipulated in the mandatory national standard of GB 17820-2018 "Natural Gas". For this reason, it is suggested that the relevant authorities pay full attention to it and conduct in-depth discussions to clarify and present a consistent understanding and interpretation of this national standard.

**Keywords:** Natural gas; Energy content metering; Analytical stoichiometry; Technical model of

收稿日期: 2020-06-02

作者简介: 陈庚良(1940-), 男, 上海人, 教授级高级工程师, 主要从事天然气处理与加工科研工作。E-mail: chengengliang@petrochina.com.cn

traceability chain; Arbitration testing method; Reference gas mixture (RGM); Reference metering method; Standard metering method

## 0 前言

作为仲裁方法的首要条件是必须具有较高的准确度。但强制性国家标准 GB 17820 - 2018《天然气》<sup>[1]</sup> (以下简称“GB 17820 - 2018”)规定的一系列气质标准仲裁方法,在测量方法选择、标准气混合物应用等方面存在若干宜进一步探讨的技术问题。为此,笔者以天然气分析溯源准则为基础对这些问题展开讨论。

## 1 基本概念

1) 仲裁方法:GB/T 20001.10 - 2014《标准编写规则 第10部分:产品标准》<sup>[2]</sup>规定“如果一个特性存在多种适用的实验方法,原则上只应规定一种试验方法。如果因为某种原因,标准需要列入多种试验方法,为了解决怀疑或争端,应指明仲裁方法。”毫无疑问,选择仲裁方法时首先应选准确度较高(或不确定度较小)的分析测试方法。

2) 测量误差:是测量结果减去被测量的真值后的差值;由于真值的不确定性,测量误差也无法确定。同时,测量误差大小与其实用价值并无联系,因而误差分析主要是应用于误差源的判别与消除。

3) 准确度:是一个与测量误差相关联的概念,实质上是表示测量结果与(约定)真值的偏离程度。由于真值的不确定性,故准确度只是一个定性的概念,通常应用于表示仪器的精度等级,无法定量地反映出测量数据的质量。

4) 精密度:是指多次平行测量结果相互之间的接近程度,通常以偏差表示。认为精密度高则准确度一定也高是个错误的概念,因为系统误差的存在并不影响测量方法的精密度。但如果没有较高的精密度,一般也很难获得较高的准确度。

5) 不确定度:是在重复性或再现性条件下测量得到的误差分布范围,实质上是表示测量数据在一定概率下与真值的偏离程度。它是一个与真值相关联的定量数据,能反映出测量数据在实用性与可比性方面的质量。

6) 目标不确定度:是指按测量结果的应用要求而规定的上限(最大)不确定度。这是 JJF 1059.1 - 2012《测量不确定度评定与表示》<sup>[3]</sup>新增的一个术语,是决定测量数据实用性与可比性的关键参数。如果测量结果的不确定度超过目标不确定度,此测量数据就没有实用价值。

7) 仪器不确定度:是指由所用测量仪器(或系统)产

生的测量不确定度分量,是被测量在测定过程中实际可达到的最小不确定度。如果仪器不确定度不能满足目标不确定度的要求,则此测量仪器(或方法)的测量数据无实用价值。

8) 分析数据的质量:现代化学分析计量中,对测量数据的质量要求主要反映在实用性与可比性两个方面。而溯源性的量化——(测量结果的)不确定度评定则是定量地表达化学计量数据质量的具体方法或途径。

综上所述,任何测量结果若不附有不确定度就没有实用价值,也无法应用于仲裁和/或互认。例如某个商品天然气样品,以 GB/T 12206 - 2006《城镇燃气热值和密度测定方法》(以下简称“GB/T 12206 - 2006”) <sup>[4]</sup>规定的方法和 GB/T 35211 - 2017《天然气发热量的测量 连续燃烧法》<sup>[5]</sup>当规定的方法对其进行(高位)发热量测定时,测量结果可能均为  $34.0 \text{ MJ/m}^3$ ,两者看似并无区别,但在测量数据的实用性方面大相径庭。GB/T 12206 - 2006 规定的水流式气体热量计的(最小)不确定度仅为  $\leq 1\%$ ,不能满足 GB/T 18603 - 2014《天然气计量系统技术要求》<sup>[6]</sup>中附录 B 对 A 级计量站规定的准确度应优于  $0.5\%$  的要求,故此测量结果不能应用于天然气能量计量的场合。后者的准确度等级可达  $0.5\%$ ,因而可以应用。

## 2 溯源链是不确定度评定的基础

国际标准化组织天然气技术委员会(以下简称“ISO/TC 193”)于 1997 年发布了国际标准 ISO 14111:1997《天然气分析的溯源准则》(以下简称“ISO 14111”)。该标准根据国际通用的化学分析计量溯源链技术模型(见图 1),提出了天然气分析溯源链的基本结构(见表 1)。

“国际通用计量学基本术语”(VIM)对“溯源性”的定义为:“通过一条具有规定不确定度的不间断的比较链,使测量结果能与规定的参考标准,通常是国家或国际标准相联系的特性”。据此定义可对溯源性和不确定度评定归纳出如下认识:1)溯源性是测量结果的一种特性,是同一性和准确性的技术归宗;2)每个可溯源的测量结果均应附有经合理评定的不确定度,未阐明不确定度的测量结果没有任何实用价值;3)要实现量值溯源,必须具备可以与测量结果相联系的一系列参考标准或标准物质(RM),即图 1 中所示的 WRM、CRM 和 PMM;4)为使测量结果能与参考标准相联系,应具有一系列适当的标准(试验)方法,即图 1 中所示的 VMM、RMM 和 PMM。

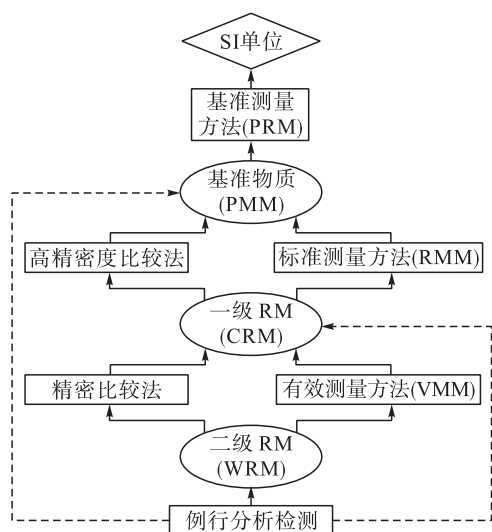


图 1 分析化学测量溯源链的技术模型图

Fig. 1 Technical mode of chemometrics traceability chain

表 1 天然气分析溯源链的基本结构表

Tab. 1 Basic Structure of traceability chain of natural gas

| 水平 | 分析计量           | 物理计量     |
|----|----------------|----------|
| 0  | SI 制单位质量 (kg)  | SI 制基本单位 |
| 1  | 基准标准气混合物 (PSM) | 基准标准物    |
| 2  | 认证标准气混合物 (CRM) | 副基准标准物   |
| 3  | 工作标准气混合物 (WRM) | 工作标准物    |

令人十分遗憾的是,ISO 14111 这个对实施天然气能量计量极为重要的基础标准迄今尚未转化为我国国家标准,导致当前在天然气发热量间接测定结果的不确定度评定中,标准气混合物 (RGM) 的应用由于无标准可循而产生混乱。

### 3 RGM 的层级及其不确定度

在化学成分溯源链上国家测量基准是溯源的源头 (顶层)。从图 1 可以看出,天然气分析溯源链的顶层 (0 级) 是 SI 制单位质量 (kg), 此量值以称量法为基准方法

表 3 天然气分析用 RGM 的层级表

Tab. 3 Hierarchy of RGM used for natural gas analysis

| 水平 | 命名            | 目标不确定度 * / (%) | 备注                                                                |
|----|---------------|----------------|-------------------------------------------------------------------|
| 1  | SI 制质量单位 (kg) | —              | 以 GB/T 5274.1-2018《气体分析 校准用混合气体的制备 第 1 部分: 称量法制备一级混合气体》规定方法制备 PSM |
| 2  | 基准级 (PSM)     | ≤0.1           | 用于为 CRM 定值, 与 0 级热量计测定数据比对                                        |
| 3  | 认证级 (CRM)     | ≤0.5           | 用于天然气能量计量实验室的质量控制与保证                                              |
| 4  | 工作级 (WRM)     | 2.5 ~ 3.0      | 用于控制天然气计量站现场实验室的质量控制与保证                                           |

注: \*  $U, k=2$ 。

制备的基准标准气混合物 (PSM) 予以复现。然后, 通过 PSM→CRM→WRM 等 3 个层级用具有相应不确定度的标准 (试验) 方法联系起来。PSM 主要应用于给认证级 RGM 定值及与 0 级 (参比) 热量计的比对, 故通常其目标不确定度应优于 0.1%。例如, ISO/TC 193 组织的 VAMGAS 研究项目中由荷兰国家计量院 (Nmi) 研制的两种 PSM 级 RGM 中包括 8 个组分 (见表 2), RGM 中含量甚高的甲烷组分的相对标准不确定度达到 0.001%, 即便含量甚微的正戊烷组分的相对标准不确定度也达到 0.025%<sup>[7]</sup>。

表 2 PSM 级 RGM 中有关组分的不确定度表

Tab. 2 Uncertainty of related components of PSM grade RGM

(%)

| 组分   | 应用于 H 组天然气 | 应用于 L 组天然气 |
|------|------------|------------|
| 甲烷   | 0.001      | 0.001      |
| 乙烷   | 0.006      | 0.009      |
| 丙烷   | 0.011      | 0.010      |
| 正丁烷  | 0.012      | 0.010      |
| 异丁烷  | 0.012      | 0.011      |
| 正戊烷  | 0.025      | —          |
| 二氧化碳 | 0.005      | 0.006      |
| 氮    | 0.014      | 0.005      |

天然气分析溯源链上第 2 层级使用的 RGM 称为认证标准气混合物 (CRM); 其目标不确定度同样取决于其用途, 应用于天然气能量计量实验室质量控制的 RGM 的扩展不确定度 ( $U$ ) 应优于 0.5% ( $k=2$ )。由于我国化学成分测量结果的不确定度评定的研究与标准化工作相对滞后, 目前应用于间接法测定天然气发热量的、扩展不确定度优于 0.5% ( $k=2$ ) 的十元 RGM 尚需依赖进口<sup>[8]</sup>。

现场检测使用的工作级 RGM 的不确定度一般为 2.5% ~ 3.0% (见表 3)。

## 4 测量方法的选择

测量方法是将不同层级 RGM 联系起来的重要手段;正确选择测量方法的质量参数是利用溯源链进行量值溯源(传递)的保证<sup>[9]</sup>。从图 1 所示模型看出,在天然气气质分析与能量计量领域涉及基准测量方法(PRM)、标准测量方法(RMM)和有效测量方法(VMM)等 3 种类型的测量方法<sup>[10]</sup>。

### 4.1 基准测量方法

基准测量方法又称为权威方法或绝对方法。其特点是操作可以被完全理解,不确定度可以直接用 SI 制单位表述,且测量不确定度优于其它类型测量方法,故是仲裁方法的首选。例如在库仑法中,测量过程的基本原理可用以下公式描述:

$$n = It / F \quad (1)$$

式中: $n$  为物质的量, mol;  $I$  为电流, A;  $t$  为时间, s;  $F$  为法拉第常数,  $9.648 \times 10^4$  C/mol。

当前在分析化学测量方法中,有可能成为 PRM 的仅有以下 5 种:同位素稀释质谱法(IDMS);库仑法;质量法(包含气体混合物和重量法分析);滴定法;冰点下降测定法。

### 4.2 标准测量方法

标准测量方法是指测量特定化学成分量的过程及其相应的操作条件已经能被确切而清晰地描述的方法;其目标不确定度通常可以满足给 CRM 级标准物质定值的要求。例如,以 PSM 级 RGM 给 CRM 级 RGM 定值时所用的气相色谱法,就是一种典型的标准测量方法,广泛应用于天然气能量计量实验室。

### 4.3 有效测量方法

有效测量方法是指已经被证明其重复性、再现性、准确性和稳定性等技术性能均可以满足应用目的的测量方法。例如,经实验确认其选择性和适用性、测量范围和线性、检出限和目标不确定度皆可满足给 WRM 级标准物质定值要求的测量方法。在天然气气质分析与能量计量领域中,气相色谱法也经常作为有效测量方法使用。

## 5 对国家气质标准规定仲裁方法的讨论

2018 年我国发布的国家标准 GB 17820-2018<sup>[1]</sup>中对所有技术内容的规定均为强制性规定,故在规定的仲裁方法时应非常慎重。

GB 17820-2018 的 4.1 节规定天然气组成分析以 GB/T 13610-2014《天然气的组成分析 气相色谱法》(以下简称“GB/T 13610-2014”)<sup>[11]</sup>规定的分析方法为仲裁方法。对此条规定宜仔细斟酌以下技术问题。

1) GB/T 13610-2014 是以外标法定量的气相色谱测量方法,其中 4.2 节规定:“分析需用的标准气可采用国家二级标准物质”,这是一条极其笼统的规定,没有说明要求的 RGM 组成及其不确定度,故不能(也不可能)应用于天然气能量计量实验室的质量控制与组成分析结果的不确定度评定。

2) 按 ISO/TC 193 的规定,由 ISO 14111、ISO 10723:2012《天然气分析系统的性能评价》(以下简称“ISO 10723:2012”)、ISO 6974 系列标准和 ISO 6976 等 ISO 标准构成天然气发热量(气相色谱)间接法测量结果不确定度评定的基础。在 ISO 10723:2012 中明确规定“应以 ISO 6974-2 规定方法测定天然气组成并经不确定度评定后,以 ISO 6976 提供的方法计算高位发热量”。而 ISO 6974-2:2001“Natural Gas—Determination of Composition and Associated Uncertainty by Gas Chromatography”(GB/T 27894.2-2011《天然气在一定不确定度下用气象色谱法测定组成 第 2 部分:测量系统的特性和数理统计》,以下简称“GB/T 27894.2-2011”)中 5.5.1 节中则明确规定:“使用认证级参比气体混合物(CRM)测定检测器响应函数”,从而保证 A 级计量站天然气发热量测定的准确度优于 0.5%。从表 3 可知,CRM 级 RGM 的目标不确定度应 $\leq 0.5\%$ 。

3) 虽然 GB/T 13610-2014 和 GB/T 27894.2-2011 中的方法都属于标准方法,但后者对测量过程的描述更为具体详尽;同时后者还规定了测量系统特性测定和数据处理的数据统计方法,以及测量误差和不确定度的计算方法。因此,至少可以认为 GB/T 27894.2 规定的方法比 GB/T 13610-2014 规定的方法更具备作为仲裁方法的技术条件。

GB 17820-2018 的 4.4 节规定天然气中 CO<sub>2</sub> 含量分析以 GB/T 13610-2014 规定方法为仲裁方法是不恰当的;按本文图 1 所示化学分析溯源链可以看出,气相色谱法是标准方法,而容量滴定法则是公认的、较成熟的、较准确的基准方法。

GB 17820-2018 的 4.2 节规定天然气中总硫含量分析采用 GB/T 11060.8-2012《天然气 含硫化化合物的测定 第 8 部分:用紫外荧光光度法测定总硫含量》<sup>[12]</sup>规定的紫外荧光光度法为仲裁方法,此规定不符合化学分析溯源准则;因为分光光度法是标准(比较)方法,而 GB/T 11060.4-2017《天然气 含硫化化合物的测定 第 4 部分:用氧化微库仑法测定总硫含量》<sup>[13]</sup>规定的氧化微库仑法则是基准方法。

GB/T 37124-2018《进入天然气长输管道的气体质量要求》<sup>[14]</sup>5.6 节规定天然气水露点测定采用 GB/T

17283-2014《天然气水露点的测定 冷却镜面凝析湿度计法》<sup>[15]</sup>规定的冷却镜面凝析湿度法(冷镜法)为仲裁方法,对此条规定宜仔细斟酌以下技术问题。

1) CNAS-CL 06-2014《测量结果的溯源性要求》前言中指出:“量值溯源的一致性国际相互承认测量结果的前提条件,中国合格评定国家认可委员会(CNAS)将量值溯源视为测量结果可信性的基础”。但冷镜法是物性测定方法,属物理化学计量范畴,不存在溯源链,故从溯源性角度考虑不具备作为仲裁方法的基本条件。

2) 建议采用 GB/T 18619.1-2002《天然气中水含量的测定 卡尔费休-库伦法》规定的卡尔-费休法为仲裁方法,后者是一种可以直接溯源至 SI 制单位的基准方法。此法经天然气研究院验证是一种灵敏度较高、操作简便、分析速度较快,且有很高准确度的气体水含量测定方法<sup>[16]</sup>。

3) 由仲裁方法测定的水含量数据可按 GB/T 22634-2008《天然气水含量与水露点之间的换算》规定的方法换算为水露点以资比较。

## 6 结论

1) GB/T 27894.2-2011 规定的方法比 GB/T 13610-2014 规定的方法更具备作为仲裁分析方法的条件。

2) 建议采用容量滴定法作为天然气中 CO<sub>2</sub> 含量的仲裁分析方法。

3) 建议采用氧化微库仑法作为天然气中总硫含量的仲裁分析方法。

4) 建议采用卡尔费休-库伦法作为商品天然气中水含量的仲裁分析方法。

### 参考文献:

- [1] 国家能源局. 天然气: GB 17820-2018[S]. 北京: 中国质检出版社, 2018.  
National Energy Administration. Natural Gas: GB 17820-2018 [S]. Beijing: China Quality Inspection Publishing House, 2018.
- [2] 全国标准化原理与方法标准化技术委员会. 标准编写规则 第10部分: 产品标准: GB/T 20001.10-2014[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014.  
SAC/TC 286. Rules for Drafting Standards—Part 10: Product Standards: GB/T 20001.10-2014 [S]. Beijing: China Standards Press, 2014.
- [3] 全国法制计量管理计量技术委员会. 测量不确定度评定与表示: JJF 1059.1-2012[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.  
AQSIQ/MTC 1. Evaluation and Expression of Uncertainty in Measurement: JJF 1059.1-2012 [S]. Beijing: China

Standards Press, 2012.

- [4] 中国市政工程华北设计研究院. 城镇燃气热值和相对密度测定方法: GB/T 12206-2006[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.  
North China Municipal Engineering Design & Research Institute. Testing Method to Determine the Calorific Values of Town Gas: GB/T 12206-2006 [S]. Beijing: China Standards Press, 2006.
- [5] 全国天然气标准化技术委员会. 天然气发热量的测量 连续燃烧法: GB/T 35211-2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.  
SAC/TC 244. Measurement of Natural Gas Calorific Value—Continuous Combustion: GB/T 35211-2017 [S]. Beijing: China Standards Press, 2017.
- [6] 全国石油天然气标准化技术委员会. 天然气计量系统技术要求: GB/T 18603-2014[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014.  
TC 355. Technical Requirements of Measuring Systems for Natural Gas: GB/T 18603-2014 [S]. Beijing: China Standards Press, 2014.
- [7] 黄黎明, 陈赓良, 张福元, 等. 天然气能量计量的理论与实践[M]. 北京: 石油工业出版社, 2010.  
Huang Liming, Chen Gengliang, Zhang Fuyuan, et al. Theory and Practice of Natural Gas Energy Determination [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2010.
- [8] 高立新, 陈赓良, 李劲, 等. 天然气能量计量的溯源性[M]. 北京: 石油工业出版社, 2015.  
Gao Lixin, Chen Gengliang, Li Jing, et al. Traceability for Natural Gas Energy Measurement [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2015.
- [9] 陈赓良. 对天然气分析中测量不确定度评定的认识[J]. 天然气工业, 2012, 32(5): 70-73.  
Chen Gengliang. A Discussion on the Evaluation of Measurement Uncertainty in Natural Gas Analysis [J]. Natural Gas Industry, 2012, 32(5): 70-73.
- [10] 于亚东. 化学测量的溯源性[M]. 北京: 中国计量出版社, 2006.  
Yu Yadong. Traceability in Chemical Measurement [M]. Beijing: Chinese Metrology Press, 2006.
- [11] 全国天然气标准化技术委员会. 天然气的组成分析 气相色谱法: GB/T 13610-2014[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014.  
SAC/TC 244. Analysis of Natural Gas Composition—Gas Chromatography: GB/T 13610-2014 [S]. Beijing: China Standards Press, 2014.
- [12] 全国天然气标准化技术委员会. 天然气 含硫化合物的测定 第8部分: 用紫外荧光光度法测定总硫含量: GB/T 11060.8-2012[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.

(下转第63页)

- Bi Yongbin, Zhang Mei, Ma Guizhi, et al. Research on Water Breakthrough Characteristics and Influence Factors of Horizontal Well in Complex Fault-block Reservoir [J]. Fault-Block Oil and Gas Field, 2011, 18 (1): 79-82.
- [14] 唐 韵. CB 油田水平井出水特征及影响因素研究[J]. 复杂油气藏, 2015, 8(3): 59-62.
- Tang Yun. Characteristics of Water Breakthrough of Horizontal Wells in CB Oilfield and Its Influence Factors [J]. Complex Hydrocarbon Reservoirs, 2015, 8 (3): 59-62.
- [15] 徐燕东, 李冬梅, 李 江. 塔河油田底水油藏水平井见水特征[J]. 新疆石油地质, 2011, 32(2): 167-169.
- Xu Yandong, Li Dongmei, Li Jiang. Water Breakthrough Characteristic of Horizontal Well in Bottom Water Reservoir in Tahe Oilfield, Tarim Basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2011, 32 (2): 167-169.
- [16] 于蓬勃. 底水稠油油藏水平井见水特征及影响因素[J]. 天然气与石油, 2015, 33(5): 36-40.
- Yu Pengbo. Water Breakthrough Characteristics and Influence Factors of Horizontal Well in Heavy Oil Reservoir with Bottom Water [J]. Natural Gas and Oil, 2015, 33 (5): 36-40.
- [17] 曹立迎, 刘慧卿, 张宗元, 等. 边水油藏水平井见水规律及控水措施研究[J]. 断块油气田, 2010, 17(4): 448-450.
- Cao Liying, Liu Huiqing, Zhang Zongyuan, et al. Research on Law of Water Breakthrough and Water Control for Horizontal Well in Edge Water Reservoir [J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2010, 17 (4): 448-450.
- [18] 李 林, 罗东红, 陶 彬, 等. 番禺油田薄层边底水稠油油藏水平井含水率上升特征[J]. 油气地质与采收率, 2016, 23(3): 106-110.
- Li Lin, Luo Donghong, Tao Bin, et al. Water Cut Rising Performance of Horizontal Wells in Thin-bed Heavy oil Reservoir with Edge-bottom Water in Panyu Oilfield [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2016, 23 (3): 106-110.
- [19] 李传亮, 朱苏阳. 关于油藏含水上升规律的若干问题[J]. 岩性油气藏, 2016, 28(3): 1-5.
- Li Chuanliang, Zhu Suyang. Some Topics About Water Cut Rising Rule in Reservoirs [J]. Lithologic Reservoirs, 2016, 28 (3): 1-5.
- [20] 苑志旺, 杨宝泉, 杨 莉, 等. 深水浊积砂岩油田含水上升机理及优化注水技术——以西非尼日尔三角洲盆地 AKPO 油田为例[J]. 石油勘探与开发, 2018, 45(2): 287-296.
- Yuan Zhiwang, Yang Baoquan, Yang Li, et al. Water-cut Rising Mechanism and Optimized Water Injection Technology for Deepwater Turbidite Sandstone Oilfield: A Case Study of AKPO Oilfield in Niger Delta Basin, West Africa [J]. Petroleum Exploration and Development, 2018, 45 (2): 287-296.



(上接第35页)

- SAC/TC 244. Natural Gas—Determination of Sulfur Compound—Part 8: Determination of Total Sulfur Content by Ultraviolet Fluorescence Method: GB/T 11060.8 - 2012 [S]. Beijing: China Standards Press, 2012.
- [13] 全国天然气标准化技术委员会. 天然气 含硫化合物的测定 第4部分: 用氧化微库仑法测定总硫含量: GB/T 11060.4 - 2017 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- SAC/TC 244. Natural Gas—Determination of Sulfur Compound—Part 8: Determination of Total Sulfur Content by Ultraviolet Fluorescence Method: GB/T 11060.4 - 2017 [S]. Beijing: China Standards Press, 2017.
- [14] 全国天然气标准化技术委员会. 进入天然气长输管道的气体质量要求: GB/T 37124 - 2018 [S]. 北京: 中国质检出版社, 2018.
- SAC/TC 244. Quality Requirements for Gases Entering Long-Distance Transportation Gas Pipeline: GB/T 37124 - 2018 [S]. Beijing: China Quality Inspection Publishing House, 2018.
- [15] 全国天然气标准化技术委员会. 天然气水露点的测定 冷却镜面凝析湿度计法: GB/T 17283 - 2014 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2014.
- SAC/TC 244. Determination of the Water Dew Point of Natural Gas—Cooled Surface Condensation Hygrometers [S]. Beijing: China Standards Press, 2014.
- [16] 罗 勤, 邱少林. 天然气中水含量分析方法标准简介[J]. 石油与天然气化工, 2000, 29(2): 96-99.
- Luo Qin, Qiu Shaolin. Synopsis to Standard of Analysis Test Methods of Water Content in Natural Gas [S]. Chemical Engineering of Oil & Gas, 2000, 29 (2): 96-99.